

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования



«Тульский  
государственный  
университет»  
(ТулГУ)



Проспект Ленина, д. 92, г. Тула, 300012  
Тел. (4872) 35-34-44, факс (4872) 35-81-81  
e-mail: info@tsu.tula.ru, http://tsu.tula.ru

Ученому секретарю диссертационного  
совета Д 999.003.02 в федеральном  
государственном бюджетном  
образовательном учреждении высшего  
профессионального образования  
«Ульяновский государственный  
технический университет»  
Веткасову Николаю Ивановичу.  
432700, ГСП, г. Ульяновск, ул. Северный  
Венец, 32.

27.04.2016 № 2-06-06-1850

Ответ на письмо от 01.04.16г.  
№ 613/01

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
доктор тех. наук, профессор

Кухарь Владимир Денисович

2016

### Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Печенкина М.В. «Моделирование многокоординатного формообразования фрезерованием зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Диссертация Печенкина М.В. полностью **соответствует** специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите.

Зубчатые колеса являются одной из наиболее важных, технически сложных и ответственных элементов механизмов. Известны они еще с древних времен, начинали применяться в ветряных мельницах, оросительных устройствах и других механизмах. С течением времени зубчатые колеса не потеряли своей актуальности из-за несомненных достоинств в виде высокой надежности, конструктивных особенностей, обеспечивающих меньшие габариты привода и высокому КПД, достигающему в некоторых случаях до 99 %. Современное развитие техники предъявляет повышенные требования к зубчатым колесам в части повышения надежности, КПД, нагрузочной способности при одновременном снижении габаритов, что требует

непрерывного совершенствования известных зубчатых зацеплений или разработки и изготовления новых.

Моделирование процессов многокоординатной обработки на станках с ЧПУ известно достаточно давно и стремительно развивается в последнее время в связи с активным переоснащением станочного парка предприятий на станки с числовым управлением. Отладка технологического процесса изготовления новых деталей на станках с ЧПУ происходит часто с использованием компьютерного моделирования процесса обработки, что снижает время отработки технологического процесса, уменьшает вероятность ошибок, выхода из строя дорогостоящего оборудования. Применение средств моделирования особенно актуально при формообразовании сложнопрофильных поверхностей на станках с ЧПУ, так как использование средств ручного создания управляющих программ становится в этом случае сложной и зачастую непосильной задачей. Вместе с тем, наличие геометрической модели и программных средств создания управляющих программ не гарантирует результата в виде готовой управляющей программы. Если математический аппарат такого класса поверхностей не заложен в программный модуль создания управляющих программ, то система либо отказывается обрабатывать такие поверхности, либо обработка осуществляется малопродуктивно. Зачастую единственным выходом для эффективной обработки таких поверхностей является применение как математического, так и компьютерного моделирования. Не случайно во многих системах автоматизированной подготовки управляющих программ предусмотрена возможность ручного ввода результатов внешнего расчета траектории инструмента. Из-за невозможности обработки ряда сложных поверхностей стандартными средствами и методами систем подготовки управляющих программ, производителями программного обеспечения разрабатываются специальные модули, стратегии обработки и шаблоны резания применительно к конкретным деталям. Именно поэтому автором в диссертационном исследовании была использована совокупность средств и методов, как математического моделирования, так и средств компьютерного, имитационного моделирования для комплексного решения задачи формообразования зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны. При дальнейшем развитии результатов проведенных исследований целесообразно создание специального программного модуля автоматизированной подготовки управляющих программ для обработки гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны.

Технология изготовления гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны как с точки зрения подготовки производства, так и в части реализации процесса их обработки на станках с ЧПУ, мало исследована.

В связи с этим считаем, что тема диссертации Печенкина М.В. является **актуальной**.

**Научную ценность** рассматриваемой диссертации представляют разработанные и апробированные на практике математические и имитационные модели многокоординатного формообразования зубьев гиперболоидных

зубчатых колес двойной кривизны на станках с ЧПУ, а также математические зависимости для расчета координат точек образующей линии зубьев.

**Научная и практическая значимость** результатов исследований заключается в том, что:

1. Полученная математическая модель многокоординатного фрезерования зубьев с управлением ориентацией инструмента и разработанные управляющие программы позволяют обрабатывать зубья гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны на станках с ЧПУ.

2. Полученные автором математические зависимости расчета положения образующих линий при геометрическом формообразовании боковой поверхности зубьев позволяют создавать объемные геометрические модели гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны.

3. Разработанный способ предварительного фрезерования зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны модульными дисковыми и пальцевыми фрезами позволяет повысить производительность предварительного формообразования зубьев по сравнению с обработкой концевыми фрезами.

4. Разработанный автором инструмент позволяет осуществить профильную модификацию зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны, что снижает вероятность возникновения кромочного контакта зубьев и повышает надежность таких зубчатых колес.

5. Разработанные математические зависимости для расчета координат точек образующей линии зубьев в виде дуг окружности и эллипса позволяют осуществлять геометрическое формообразование модифицированных зубьев с использованием таких профилей.

#### **Оценка содержания диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, выводов и заключения, списка литературы, приложений. Объем диссертации – 132 страницы, основного текста 99 страниц, включающего 4 таблицы, 40 рисунков. Список литературы содержит 193 наименований использованных литературных источников отечественных и зарубежных авторов. Приложения представлены на 11 страницах машинописного текста.

В первой главе рассмотрены конструктивные особенности зубчатых колес, существующие методы формообразования сложнопрофильных поверхностей механической обработкой, особенности формообразования зубьев зубчатых колес, рассмотрены предполагаемые методы финишной обработки зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны и вопросы их проектирования и производства.

Во второй главе представлены полученные автором математические зависимости для определения координат положения образующей линии боковой поверхности зубьев и координат образующей линии, выполненной дугами окружности и эллипса, а также разработанная геометрическая модель зубчатого колеса.

В третьей главе приводится разработанная математическая модель боковой поверхности зуба гиперболоидного зубчатого колеса двойной

кривизны на основе которой получена математическая модель управления кинематикой формообразования зубьев концевым инструментом.

В четвертой главе представлен способ предварительной обработки зубьев с использованием модульных пальцевых и дисковых фрез, инструмент для профильной модификации зубьев, осуществлен оценочный подбор и расчет режимов резания, времени предварительной обработки зубьев по предлагаемому способу изготовления, необходимой мощности резания и ее сравнение с паспортными данными выбранного станка с ЧПУ. Приведены результаты экспериментальных исследований по фрезерованию боковой поверхности зубьев на станках с ЧПУ

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе.

**Обоснованность и достоверность** выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается приведенными в диссертации результатами практического эксперимента по обработке зубьев гиперболоидных зубчатых колес двойной кривизны. Согласно приведенным примерам, разработанные автором модели и методы показали свою работоспособность при практической реализации формообразования зубьев на станке с ЧПУ.

По теме диссертации **опубликовано** 10 работ, в том числе 3 статьи в журналах ВАК и 4 доклада на Международных конференциях, получены 2 патента на изобретения и 1 патент на полезную модель. Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК. Научная квалификация соискателя полностью соответствует ученой степени кандидата технических наук.

**Результаты работы** внедрены и практически опробованы на ООО «Адем-Центр», АО «Вакууммаш», ПАО «Камаз» и рекомендуются к использованию на других машиностроительных предприятиях РФ, занимающихся вопросами проектирования и производства зубчатых колес.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие **замечания**:

1. На стр. 10 диссертации приведены различные конструктивные особенности и способы осуществления профильной и продольной модификации зубьев. Может быть стоило приводить все возможные конструктивные особенности и способы профильной и продольной модификации зубьев зубчатых колес, а не только их часть?

2. На с. 30 представлена необоснованная бездоказательная критика существующих работ, затрудняющая понимание высказываний автора из-за не указания ФИО авторов критикуемых работ.

На с. 31 имеется странное заявление автора: *«В работе [26], по заверениям автора, изготовлены зубчатые колеса на гиперболоидной заготовке. Однако, элементарный визуальный анализ изготовленных зубчатых колес показывает, что зубчатые колеса формообразованы только на окологорловой части однополостного гиперболоида. Известно, что аппроксимацией окологорловой части однополостного гиперболоида вращения цилиндром получают винтовые*



зубчатые колеса с точечным характером контакта.». Непонятно, как это он визуальным анализом определил способ формообразования зубьев?

4. На стр. 44 диссертации, рис. 2.1, ось  $z$  зубчатого колеса направлена вертикально, а на стр. 55, рис. 2.6, ось  $z$  направлена горизонтально. Может стоило привести направление осей координат к единообразию?

5. Во второй главе диссертации в формулах тригонометрических функций произвольные значения углов (без указания размерности) складываются или вычитаются из фиксированных значений прямых углов или  $180^\circ$ , что не вполне корректно.

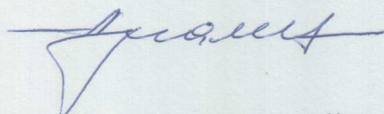
6. В пункте 4.2 диссертации «Оценочный расчет времени предварительного формообразования зубьев дисковой модульной фрезой на станках с ЧПУ» и п. 4.4 «Опробование и внедрение результатов диссертационного исследования» приведены количественные данные снижения времени обработки зубьев гиперболических зубчатых колес двойной кривизны при предварительном и чистовом фрезеровании зубьев. Однако, было бы целесообразным подкрепить эти данные снижением себестоимости изготовления в конкретных цифрах.

В целом диссертация Печенкина М.В. на тему: «Многокоординатное формообразование фрезерованием зубьев гиперболических зубчатых колес двойной кривизны» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, содержит новые научные результаты, развивающие теорию и практику технологии машиностроения и, в частности, обработки зубьев зубчатых колес.

Учитывая все вышеизложенное, считаем, что Печенкин М.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры технологии машиностроения Тульского государственного университета «26» апреля 2016 года, протокол № 12.

Заведующий кафедрой, доктор технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, профессор



Маликов Андрей Андреевич

Отзыв составил заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор кафедры технологии машиностроения Тульского государственного университета, доктор технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, профессор



Ямников Александр Сергеевич  
300012, г. Тула, пр. Ленина, 92. ФГБОУ  
ВПО «Тульский государственный  
университет», тел/факс (4872)-25-46-48  
e-mail: [Yamnikovas@mail.ru](mailto:Yamnikovas@mail.ru)